

手背静脉身份识别技术

王一丁 著



科学出版社

手背静脉身份识别技术

王一丁 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是本实验室在手背静脉身份识别方面多年研究成果的归纳与总结。全书共9章,首先分析了指纹、虹膜和人脸识别技术的成功使用和存在的问题,并讨论了手背静脉身份识别的鲜明特色和重要研究意义,然后从手背静脉图像采集设备的设计和实现、手背静脉图像数据库的建立、手背静脉图像的质量评价、手背静脉图像的容量分析、手背静脉图像纹理结构的特征提取、手背静脉图像的分类决策、手背静脉图像的活体检测 and 手背静脉身份识别系统这几方面展开深入的研究,相关的科学研究工作对深入推动手背静脉身份识别技术的理论研究和应用研究具有重要意义。

本书可供从事模式识别和生物特征识别研究的专业人员,以及电子信息、计算机和自动化等专业的研究生、教师、工程技术人员和科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

手背静脉身份识别技术/王一丁著. —北京:科学出版社,2015.9
ISBN 978-7-03-045857-5

I. ①手… II. ①王… III. ①手背—静脉—身份认证—机器识别 IV. ①R319

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第230595号

责任编辑:余 丁 闫 悦 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年9月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2015年9月第一次印刷 印张:15 3/4

字数:304 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在当今信息交互量巨大、人员流动频繁且流动范围广的信息化社会中，如何识别个人的身份面临巨大挑战，这也是信息化时代必须解决的一个核心问题。网络化给现代生活带来便利的同时，也加大了身份识别的需求。与传统的密码、卡号、用户名、钥匙和证件等身份识别方法相比较，基于指纹、人脸、虹膜、笔迹、声纹、步态和静脉等生物特征的身份识别方法具有不易丢失、不易复制和随身携带等诸多优点，得到越来越多的深入研究与推广应用。

虽然指纹、人脸和虹膜识别近年来经过不少学者和专家的研究，得到了长远的发展，并且已经找到了许多鲁棒性好、速度快的识别方法，但是，各种生物特征识别方法都具有难以克服的缺点。近年来，研究者一直在试图寻找更为鲁棒的身份识别手段，新型生物特征身份识别的研究受到越来越广泛的关注，耳形、掌纹、步态等身份识别方法也时有报道，其中手背静脉身份识别在各种新型生物特征识别手段中脱颖而出，成为目前研究和应用的热点之一。相比于指纹、虹膜和人脸识别，手背静脉身份识别具有鲜明的特色。

(1) 生理结构决定了手背静脉的唯一性和长期稳定性。

(2) 脂肪和血液对红外光吸收率不同的成像机理，以及手背静脉血管位于体表内部，不易受到污染和划伤等外界因素影响的特点决定了手背静脉的活体性和不易伪造的特性。

(3) 成像设备属于非接触类型，且造价低廉，用户和制造商都容易接受等特点决定了该技术的可行性。

虽然手背静脉身份识别技术在国内外取得了丰富的理论研究成果和商业应用价值，但是大样本条件下的手背静脉身份识别非常有限。目前发表的研究论文虽然对识别问题进行了研究，但实验大多在较小规模的数据库上进行，并且研究未针对在大样本情况下的手背静脉身份识别实际问题深入研究。面对我国人口众多、人员流动频繁的具体情况，十分有必要研究大样本条件下手背静脉身份识别的关键问题。

本书针对在大样本情况下，围绕手背静脉身份识别在样本集规模与识别精度理论分析，手背静脉图像的质量评价标准，多人种、老龄化和非线性形变的特征鲁棒及面向大规模数据库的实时识别这几个问题，进行了手背静脉图像采集设备的设计和实现、手背静脉图像数据库的建立、手背静脉图像的质量评价、手背静脉图像的容量分析、手背静脉图像纹理结构的特征提取、手背静脉图像的分类决策、手背静脉图像的活体检测和手背静脉身份识别系统这几方面的深入研究。对构造高精度手背静脉身份识别的理论框架，实现面向大规模数据库的实时身份识别系统具有重要意义。

从国内外的研究现状来看,手背静脉身份识别技术引起研究工作者越来越多的重视,同时说明该项研究工作具有较高的理论意义。本书大部分内容来自于作者所在研究团队多年来对手背静脉身份识别研究的工作积累。为了能够更全面地反映手背静脉身份识别研究的发展、现状和趋势,作者在书中也介绍和引述了国内外相关方面的研究成果。希望通过本书,读者可以对手背静脉身份识别的研究工作和发展现状有更全面的了解和学习,同时激发大家对手背静脉身份识别的研究热情,从而吸引更多的研究者对该方面的工作进行研究和创新,解决现有问题,提出更多优化方案,推动手背静脉身份识别和生物特征识别的研究发展。

在本书的撰写过程中,作者参考了国内外手背静脉识别研究领域的大量文献,在此谨向相关的文献作者表示感谢。英国中央兰开夏大学的 Lik-Kwan Shark 对本团队的研究工作给予了很多指导和帮助,作者在此表示衷心的感谢。还要感谢北京航空航天大学的王蕴红、黄迪,清华大学的周杰,北京大学的李文新,北京科技大学的穆志纯等国内同行,与他们的学术交流使作者受益匪浅。

作者所在团队的杨晨艳、段强宇、解威、张珧、徐林林、黄守艳、李霁阳、马遇伯、马晓蕾、买热哈巴·优素莆江和王聪聪在本书的编写和校对过程中做了大量的工作,感谢他们的鼎力支持。还要感谢已毕业的姜楠、廖卫平、秦帅、王海、曹希、樊云、齐琦、赵实、曹海军、马晓磊、崔言伟、宫贺、何欢、吴文琪、燕青宇和于晓捷等对团队研究工作的前期贡献。

感谢国家自然科学基金“大样本手背静脉身份识别的关键问题研究”(项目编号:61271368)和北京市自然科学基金重点项目“手背静脉身份识别关键技术研究”(项目编号:KZ201410009012)对作者所在团队手背静脉识别研究工作的大力支持。科学出版社的余丁为本书的编辑出版付出了大量的时间和精力,作者在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2015年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 手背静脉身份识别的研究意义	2
1.3 手背静脉身份识别的关键问题	7
1.4 手背静脉身份识别的技术路线	10
1.4.1 手背静脉图像采集与数据库建立	10
1.4.2 手背静脉身份识别的可行性	11
1.4.3 手背静脉图像的质量评价	12
1.4.4 手背静脉图像的特征提取	13
1.4.5 手背静脉图像的分类决策	15
1.4.6 手背静脉图像的活体检测	16
1.5 手背静脉身份识别的研究趋势	17
参考文献	18
第 2 章 手背静脉图像采集设备	21
2.1 手背静脉成像机理	21
2.1.1 远红外成像原理	22
2.1.2 近红外成像原理	23
2.1.3 近红外成像方式	24
2.2 手背静脉图像采集设备参数设计及器件选择	27
2.2.1 对比度和光斑	27
2.2.2 图像采集部分	28
2.3 手背静脉图像采集设备的实现	32
2.3.1 基础参数设定及第一代采集系统	32
2.3.2 第二代改进采集系统	36
2.4 本章小结	40
参考文献	40
第 3 章 手背静脉图像数据库的建立	41
3.1 现有手背静脉图像数据库	41

3.2	手背静脉图像数据库	44
3.2.1	NCUT 手背静脉图像数据库	44
3.2.2	跨时间段的手背静脉图像数据库	45
3.2.3	跨设备的手背静脉图像数据库	47
3.3	大样本手背静脉图像的合成	48
3.3.1	样本合成理论	50
3.3.2	双 PCA 投影空间	51
3.3.3	双 PCA 动态空间的手背静脉图像合成方法	53
3.4	手背静脉合成图像的评价	56
3.4.1	最优特征样本集 w 值的选取	56
3.4.2	合成手背静脉图像的评价	57
3.4.3	合成手背静脉图像数据库的建立	58
3.5	合成手背静脉图像数据库的识别测试	59
3.6	本章小结	61
	参考文献	61
第 4 章	手背静脉图像的质量评价	63
4.1	手背静脉图像的质量评价标准	63
4.1.1	主观质量评价标准	63
4.1.2	客观质量评价标准	64
4.2	步进式手背静脉图像质量评价方法	66
4.2.1	步进式图像质量评价模型	66
4.2.2	手背静脉图像质量评价参数	67
4.2.3	手背静脉图像评价过程及结果	70
4.3	基于多参数融合的手背静脉图像质量评价方法	71
4.3.1	对比度的贡献度	71
4.3.2	有效区域的贡献度	73
4.3.3	清晰度的贡献度	75
4.3.4	位置偏移的贡献度	77
4.3.5	图像旋转的贡献度	78
4.3.6	各参数贡献度的加权融合	81
4.4	异质手背静脉图像质量标准	83
4.4.1	异质手背静脉图像	83
4.4.2	异质手背静脉图像的质量参数	85
4.5	本章小结	87
	参考文献	88

第 5 章 手背静脉图像的容量分析	89
5.1 基于信息熵手背静脉图像身份识别的可行性	89
5.1.1 熵与互信息	89
5.1.2 图像的熵	90
5.1.3 图像的互信息	90
5.1.4 手背静脉图像身份识别的可行性	90
5.2 基于图像编码的样本容量分析	92
5.2.1 基本假设	92
5.2.2 灰度共生矩阵	94
5.2.3 图像分块编码	97
5.2.4 手背静脉图像的潜在容量估算	99
5.2.5 估算方法的有效性验证	105
5.3 本章小结	112
参考文献	113
第 6 章 手背静脉图像纹理结构的特征提取	114
6.1 手背静脉图像特征提取的方法	115
6.2 LBP 算子	119
6.2.1 标准 LBP 算子	119
6.2.2 归一化 LBP 算子	120
6.2.3 旋转不变归一化 LBP 算子	122
6.2.4 分块 LBP 算法	123
6.3 基于多尺度的 LBP 算法	124
6.3.1 多尺度分析	124
6.3.2 传统多尺度 LBP 算法	126
6.3.3 PLBP 与多尺度分析融合算法	127
6.3.4 算法对比	129
6.4 基于加权纠错编码的改进 LBP 算法	134
6.4.1 特征加权	135
6.4.2 纠错码	136
6.4.3 算法对比	138
6.5 局部宏观和微观融合的改进 LBP 算子	140
6.5.1 MB-LBP 算子	140
6.5.2 CS-LBP 算子	141
6.5.3 MB-CSLBP 算子	141
6.5.4 算法对比	142

6.6	基于 LBP 的特征编码	145
6.6.1	特征编码	145
6.6.2	BP 人工神经网络编码器	146
6.6.3	正交码	149
6.6.4	特征编码策略	151
6.6.5	分类器设计和结果分析	154
6.6.6	BP 编码策略和 LBP 编码策略的讨论	155
6.7	本章小结	156
	参考文献	156
第 7 章	手背静脉图像的分类决策	158
7.1	基于 SIFT 的多模板分类器设计	158
7.1.1	手背静脉图像 SIFT 特征提取	159
7.1.2	改进的手背静脉图像 SIFT 特征点精筛选	164
7.1.3	基于 SIFT 的多集合模板	165
7.1.4	SIFT 多模板分类决策	166
7.2	多分类器融合的静脉特征匹配	170
7.2.1	SVM	171
7.2.2	SVM 多核学习	173
7.2.3	多分类器融合	174
7.2.4	融合结果分析	176
7.3	随机关键点产生与细粒度匹配算法	177
7.3.1	基于高斯分布的随机关键点生成方法	178
7.3.2	细粒度特征点匹配	179
7.3.3	实验结果分析	182
7.4	深度信念网络	184
7.4.1	深度信念网络概述	184
7.4.2	限制玻尔兹曼机	185
7.4.3	DBN 模型训练	185
7.4.4	分类码组合	186
7.5	本章小结	187
	参考文献	188
第 8 章	手背静脉图像的活体检测	191
8.1	生物特征的活体检测	191
8.2	假手背静脉图像库的建立	192
8.3	手背静脉图像活体检测的时域分析	194

8.3.1 粗特征分析	194
8.3.2 细特征分析	196
8.4 手背静脉图像活体检测的频域分析	197
8.4.1 频谱块能量特征	198
8.4.2 频域特征的真假分类	201
8.5 手背静脉图像活体检测的模型分析	202
8.5.1 真实手背静脉图像投影空间的建立	202
8.5.2 投影并提取干扰信息	205
8.5.3 基于 AR 模型的功率谱估计	206
8.6 本章小结	210
参考文献	211
第 9 章 手背静脉身份识别系统	214
9.1 手背静脉图像的预处理	214
9.1.1 图像噪声抑制	215
9.1.2 静脉图像矫正	216
9.1.3 ROI 的提取	216
9.1.4 手背静脉图像增强与归一化	218
9.2 手背静脉纹理的分割算法	219
9.2.1 静脉纹理分割方法	219
9.2.2 梯度增强的静脉图像分割方法	222
9.3 基于手背静脉的门禁系统设计	224
9.3.1 系统结构和流程	224
9.3.2 系统的硬件选择	225
9.3.3 系统软件设计	226
9.3.4 特征提取算法及分类器设计	228
9.3.5 系统测试结果	234
9.3.6 手背静脉分布式系统架构	235
9.4 本章小结	240
参考文献	240

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

在当今信息交互量巨大、人员流动频繁、人员流动范围广的信息化社会中，如何识别个人的身份面临巨大的挑战，这也是信息化时代必须解决的一个核心问题。网络化给现代生活带来便利的同时，也加大了身份认证的需求。传统的身份认证方法主要有两种：基于身份标识物（如钥匙和证件等）的身份验证；基于身份标识知识（如卡号和密码等）的身份识别。但由于极易遗失和仿造，并且无法区分标识物的真正拥有者和冒充者，所以这两种方法难以满足现代社会越来越高的安全标准。

与传统的密码、卡号、用户名、钥匙和证件等身份识别方法相比较，基于指纹、人脸、虹膜、笔迹、声纹、步态和静脉等生物特征的识别方法具有不易丢失、不易复制和随身携带等诸多优点，并得到越来越多的深入研究与推广应用。生物特征识别是依靠人体生物特征进行身份认证的一种技术，即通过计算机将人体所固有的生理特征和行为特征进行采集处理，从而进行个人身份鉴定的技术。使用生物特征进行身份的认证不但快速、简洁，而且准确、可靠、安全，同时易于同计算机和监控、安全、管理系统整合，进行自动化管理。由于它在国家公安、安全、司法和金融等领域有着广泛的应用，所以带来的社会效益和经济效益都十分巨大。另外，基于传统的生物特征如指纹、虹膜和人脸等的身份识别系统也获得了较成功的应用。

国际上，2001 年美国“9·11”事件后，基于生物特征的身份识别技术的重要性得到全球范围内许多政府的重视。美国连续发布 3 个法案，强调在边检、执法、民航等领域应用生物特征识别技术，并立法要求 2005 年在护照上使用该技术；联合国的国际民用航空组织（International Civil Aviation Organization, ICAO）对 188 个成员国发布了航空领域使用生物特征认证技术的规划，提出在个人护照中加入生物特征（包括指纹、虹膜和人脸等），并在进入各个国家的边境时进行个人身份的认证。早在 2003 年，中国科学院自动化研究所便成立了生物特征认证与测评中心，促成了中国生物特征认证技术产业联盟的成立。生物特征识别技术凭借着自身的各项优势和优点，以及利用各学科相互交叉取得的最新研究成果，在全球范围内已经形成了巨大的市场。美国基于生物特征的身份认证产业规模已达到数十亿美元，其他一些国家和地区（如欧盟、澳大利亚和日本等）也采用法律规定的方式来使用这项技术。根据国际生物识别组织（International Biometric Group, IBG）的市场报告统计分析^[1]，2009 年指纹识别技术占到市场总额的 66.6%，面部识别为 11.3%，虹膜识别达到 17.44 亿美元的市场规模。

2006年2月,我国国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》中,将生物特征识别列入今后15年科技重点领域中的优先主题,并在信息领域前沿“智能感知技术”的部署中重点强调该领域的研究。2008年北京奥运会和2010年上海世博会等大型会议的召开,为生物特征识别技术的应用提供了广阔的发展空间。

手背静脉身份识别作为生物特征识别的方法之一,是近十几年来新发展起来的一种生物特征识别方法,也是目前身份认证领域最关注的热点之一。手背静脉拥有很好的唯一性和普遍性,在人与人之间和同一个人的两只手之间,手背静脉的血管纹理结构是不相同的,并且个人的血管纹理结构不随时间变化;手背静脉血管位于体表内部,不易受到污染和划伤等外界因素的影响,并且不易被仿制;手背静脉图像在采集过程中相对于人体其他部位的采集更易被接受,所有的这些特性使得手背静脉身份识别技术成为一个合格的生物特征识别技术。

1.2 手背静脉身份识别的研究意义

虽然指纹、人脸和虹膜识别近年来经过不少学者和专家的研究,得到了长远的发展,而且已经找到了许多鲁棒性好、速度快的识别方法,但是,各种生物特征识别方法都具有难以克服的缺点。

指纹是人生而就有的物理表皮结构,每个人指尖的沟壑纹理是不同于其他人的。指纹识别是最古老的生物特征识别,其概念被大众所熟悉,所以现代指纹识别技术容易被人接受,只需要少量指导便可实现轻松采集。此外,指纹特征占据的存储空间较小,设备轻巧,易于和移动设备结合。但是,由于指纹是暴露在外面的表皮纹理,其结构信息会受到灰尘、油、水等环境因素的影响;断纹、无指纹以及脱皮和伤痕等问题影响图像采集质量,导致指纹识别困难,如图1-1所示。另外,当手与一些物体接触时,会在这些物体表面留下指纹,这样就容易被别人仿造,制造出各种指纹套,欺骗指纹识别系统,如图1-2所示。而且,对指纹套的活体防伪检测也是当前的难点问题。



图 1-1 手指脱皮

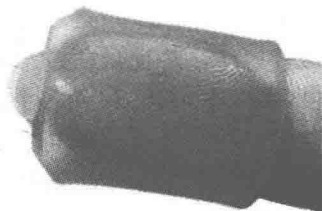


图 1-2 指纹套

虹膜识别是采集人眼虹膜区域的近红外图像进行识别。虹膜的纹理结构与生俱来,不会随时间改变,其中含有丰富的信息量,大约是指纹纹理结构中所含信息量的6倍。虹膜识别是世界上精度最高的生物特征识别技术,应用于高安全级别部门如军

队、银行等。但在虹膜识别中，一个最为主要的问题是使用者容易存在心理上的排斥，所以，通过近红外光照射人眼获取虹膜图像，不易被人接受。另外，在虹膜图像采集过程中，需要眼部注意力集中在一个点上，通过适当的训练才能够获得更好的采集效果，这会很大程度地影响虹膜识别技术的推广。虹膜图像及其采集识别如图 1-3 所示。

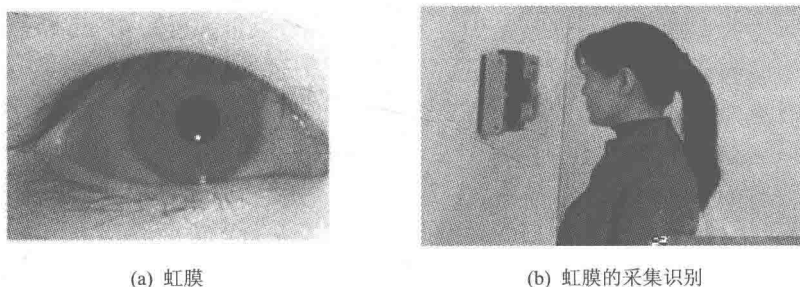


图 1-3 虹膜图像及其采集识别

人脸识别系统根据采集图像的维数可以分为二维人脸识别系统和三维人脸识别系统。在二维人脸识别中，人脸会因为生长发育而发生变化，从而影响识别率，如长胖、变瘦、长出胡须等，如图 1-4 所示；另外，由于人具有丰富多彩的表情，也降低了识别的准确性，如图 1-5 所示；而且，人脸还受周围环境，如遮挡、光照等影响。三维人脸识别虽然不会受光照和拍摄角度影响，但是在大规模数据库中效率缓慢，所以目前仍处在研发阶段。

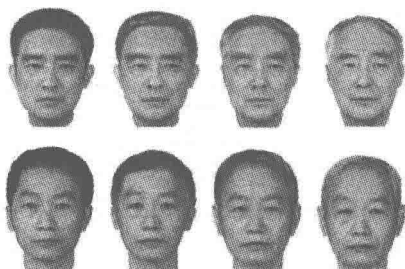


图 1-4 人脸的衰老情况

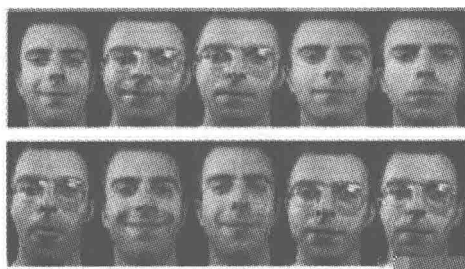


图 1-5 人脸表情变化

近年来，研究者一直在试图寻找更为鲁棒的身份识别手段。新型生物特征身份识别的研究受到越来越广泛的关注，耳形、掌纹、步态等身份识别方法也时有报道^[2-7]，其中手背静脉身份识别在各种新型生物特征识别手段中脱颖而出，成为目前研究和应用的热点之一。手背静脉身份识别的原理框图如图 1-6 所示。

相比较指纹、虹膜和人脸识别，手背静脉识别具有鲜明的特色。

(1) 手背静脉特征具有很好的普遍性和唯一性。解剖学著作 *Gray's Anatomy* (《格式解剖学》)^[8]已经证明，个体的手背静脉在形成、发育生长过程中具有很强的唯一性，

即使是双胞胎或者同一个人的左右手, 也会因为发育过程的随机性导致手背静脉分布结构的差异^[9]。当人体发育成熟, 20 岁后手背静脉的分布结构除非进行手术或药物作用, 否则不再变化, 因此手背静脉作为一种新的生物特征是可行的^[10,11]。

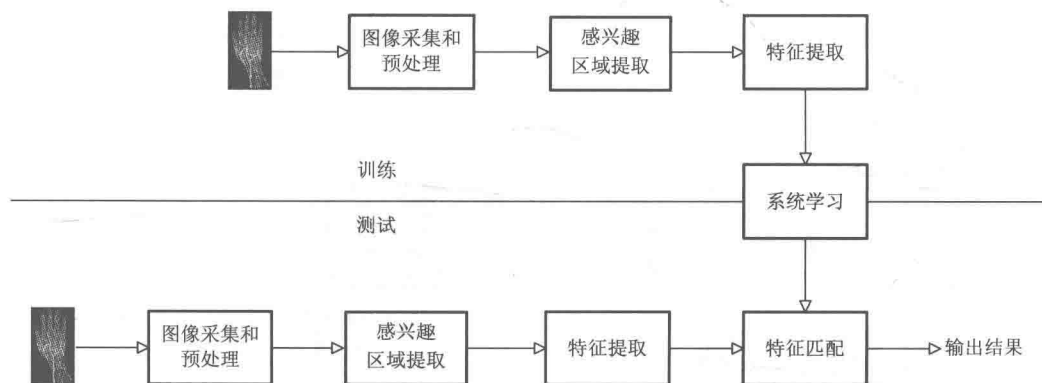


图 1-6 手背静脉身份识别的原理框图

(2) 活体识别特性和内部特性。由于血液和皮下脂肪对近红外光的吸收率不同, 通常采用近红外反射成像, 获得对比度清晰的手背静脉纹理图像, 进而完成特征提取与识别研究^[12-14]。另外, 手背静脉血管位于体表内部, 不易受到污染和划伤等外界因素的影响, 所以手背静脉很难被仿造, 安全性较高。

(3) 近红外反射成像设备属于非接触类型, 且造价低廉, 用户和制造商容易接受。在部分国家特别是日本、韩国和新加坡等, 手背静脉识别产品如韩国的 VP-II 和日本富士通的 Palm Secure, 都已经进入了实用领域^[15,16]。

静脉识别技术最早是由研究者 MacGregor 和 Welford 于 1991 年提出的, 并开始受

到关注。1995年, Cross 和 Smith^[12]发表的综述性文章对手背静脉识别的整个过程进行了完整描述,从此手背静脉识别技术进入了快速发展阶段。1997年,韩国 BK System 公司发布了亚洲第一个商用手背静脉验证产品 BK-100。2006年 IBG 对日立公司的静脉验证产品 TS-E3F1 和富士通公司的静脉验证产品 Palm Secure 的测试结果表明,静脉识别技术和虹膜识别技术的性能指标相当。在算法研究方面,2005年新加坡南洋理工大学的 Leedham 等^[17]利用热红外成像技术,使用局部自适应分割方法提取手背静脉特征,2008年 Leedham 等^[18]提出了基于细节特征分析的热红外手背静脉识别方法,2009年香港理工大学的 Kumar 等^[14]提取静脉血管的结构信息和关节信息作为特征,并使用决策融合的方式进行识别,2010年克卢日-纳波卡技术大学的 Septimiu 等^[19]提出了低成本设备的成像质量控制问题,2011年在香港举办了第一届关于手的生物特征识别国际会议,对手背静脉身份识别科学问题的研究越来越重视。

在国内,从2002年开始,清华大学的林喜荣等^[20]发表了多篇文章,自主设计了近红外血管图像采集仪,提取血管造影的原始图像,并对采集到的图像进行归一化和增强处理,对特征提取和特征匹配算法进行了初步的研究。在2006年,他们利用分水岭算法提取特征点,并使用二阶矩和统计的方法进行多分辨率滤波得到多维特征向量^[21]。2005年,哈尔滨工程大学的王科俊等^[22-24]发表了三篇文章,针对手背静脉图像的特点提出了自己的细化算法和分割算法。吉林大学的韩笑等^[25,26]在文章中提出了利用带方向因子的小波(脊波)对手背静脉血管和手指静脉血管进行增强,并使用神经网络进一步判断血管特征点的方法。2006年,静脉识别技术首次获得了国家自然科学基金的资助,这也是目前国内静脉识别领域第一项获得国家自然科学基金资助的研究。2007年同济大学设计了嵌入式的手背静脉辅助定位系统^[27,28]。2010年北京大学的李文新等^[29]采用迭代的线性追踪方法提取线性特征并将其分块编码,实现手指静脉在大型数据库中的搜索。2011年天津大学的刘铁根、王云新和李秀艳提出了一种基于加速鲁棒性特征的手背静脉识别算法,并设计了k近邻分类器和支持向量机相融合的分类器进行识别^[30,31]。2010年复旦大学的郑英杰和顾晓东^[32]使用二维 Gabor 相位编码特征与直方图特征相结合的方法提取手背静脉特征。2011年东北大学的贾旭等^[33,34]使用多尺度下轮廓波变换的子带能量作为特征,分别建立了隐马尔可夫模型并进行融合,实现真假匹配的区别。这些研究工作说明手背静脉技术越来越受到研究工作者的重视,同时说明该项研究工作具有较高的理论意义。

虽然手背静脉识别技术的研究在国内外取得了丰富的理论研究成果和商业应用价值,但是目前比较成功的商用系统,如韩国的 VP-II 和日本富士通 PSN800 都是采用身份认证技术(即 1:1 验证),很少有系统关注 1:N 身份识别问题。研究身份识别问题,尤其是大样本条件下的手背静脉身份识别,非常有限,目前发表的研究论文虽然对识别问题进行了研究,但实验大多在较小规模的数据上进行,并且研究中未针对在大样本情况下的手背静脉识别实际问题深入研究。面对我国人口众多、人员流动频繁的具体情况,十分有必要研究大样本条件下手背静脉身份识别的关键问题。相比

指纹、人脸和虹膜识别技术的成功，如何在大量样本条件下实现手背静脉的鲁棒身份识别，开展相关的科学研究工作对深入推动手背静脉身份识别技术的理论研究和应用研究具有重要意义。当前在大量样本条件下，手背静脉身份识别技术存在的关键问题如下。

(1) 样本集规模与识别精度的理论问题。表 1-1 是几种典型的手背静脉识别方法^[12-14,20,22,35-37]，其结果都具有较高的识别精度，但这些结果都是在几十人的小样本情况下得到的。从理论上讲，样本集规模的增大，会导致识别率的下降。目前关于样本集规模与识别精度之间理论分析的研究未见报道。

表 1-1 手背静脉识别方法

	数据库	训练图片数	测试图片数	匹配次数	误识率/%	拒真率/%
Cross 和 Smith ^[12]	20		2	40 类内匹配, 760 类间匹配	0	7.5
Wang 等 ^[13]	12		6	72 类内匹配, 792 类间匹配	0	0
Lin 和 Fan ^[35]	32		15	480 类内匹配, 14880 类间匹配	3.5	1.5
Tanaka 和 Kubo ^[36]	25				0.73	4
Kumar 等 ^[14]	100				1.14	1.14
清华大学 ^[20]	13	5	5	260 类内匹配, 3120 类间匹配	0	4.6
哈尔滨工程大学 ^[22]	48	5	5	960 类内匹配, 45120 类间匹配	0	0.8
VP-II ^[37]	200		1	200 类内匹配, 39800 类间匹配	0.0001	0.01

(2) 大规模近红外手背静脉图像的质量问题。手背静脉图像质量与识别率有直接的关系^[19,35,38,39]，Lin 和 Fan 在文献[35]中通过实验证明了图像亮度的改变对识别率有着直接的影响。显然，除了图像亮度，图像的其他质量参数也会影响识别率，但是现有的各种手背静脉数据库的图像质量在亮度、灰度分布、对比度、平滑度、尺寸大小和图像活体性等方面存在一定差异。为了建立统一的大规模手背静脉数据库，进行各种识别算法的比较，急需研究手背静脉图像质量问题。

(3) 大规模数据库中多人种、老龄化和非线性形变的鲁棒特征提取问题。西方人手背毛发浓密，手背静脉图像中毛发噪声的随机分布会严重影响识别效果^[10,11]。随着年龄的增加，皮肤弹性变化造成血管粗细的变化和皮下脂肪对近红外光吸收和反射特性的变化，也将导致血管粗细和分布特征的不稳定。在识别过程中，使用者手的握力和姿态等各种非线性形变同样会造成特征的不稳定。针对多人种、老龄化和各种非线性形变的特殊情况，鲁棒特征提取是必须研究的问题。

(4) 面向大规模数据库实时识别系统的分类决策问题。目前发表的研究论文虽对识别问题进行了研究，但实验大多在较小规模的数据上进行，小样本情况下的距离分类器、支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 分类器和融合分类器等都有报道^[14,35,40]，也都取得了较高的识别率。但在大量样本情况下，分类决策如何保证识别精度，同时满足识别速度的要求，仍有许多理论与方法问题需要解决，动态模型在线学习和快速相关处理分类器是较好的解决方案之一。

综上所述，相比较指纹、虹膜和人脸识别技术的成功使用和存在的问题，综合分析前期国内外关于手背静脉身份识别的研究成果，可以看到，在大量样本情况下，手背

静脉身份识别在样本集规模与识别精度理论分析,手背静脉图像的质量评价标准,多人种、老龄化和非线性形变的特征鲁棒和面向大规模数据库的实时识别四方面需要深入的研究。对这些问题的研究有助于建立手背静脉身份识别的理论框架体系,建立统一的评价标准,解决实时识别速度与实用性问题。本书就上述问题展开深入研究,相关科学研究工作对深入推动手背静脉识别技术的理论研究和应用研究具有重要意义。

1.3 手背静脉身份识别的关键问题

在大样本条件下,构造高精度手背静脉身份识别的理论框架,需要对样本集的特征容量与识别率、手背静脉图像质量标准对识别率的影响进行理论研究,对于手背静脉图像特性及用于活体检测、形变鲁棒的特征编码机理和动态模型更新分类器进行具体研究,最终实现面向大规模数据库的实时识别系统。本书的研究内容如下。

(1) 特征可分性与大样本集容量的研究。前期工作建立了 200 人的小规模手背静脉数据库,并在此库上取得了 99.02% 的正确识别率,为了获得更高的识别率,需要开展特征可分性的支撑性理论研究。随着数据库规模的扩大,特征可分性变差,为了保证高的识别率,需要进行大样本集容量规模的研究。本书将进一步采集 2000 人的手背静脉图像数据,申请使用国内外其他研究机构的手背静脉数据库,通过图像合成技术生成新的手背静脉数据库,最终达到 1 万人的数据库容量。在此基础上,在手背静脉分割后的二值图像中提取手背静脉结构特征,如端点、交叉点的坐标形成星形模型,交叉点为中心的矢量结构,积分特征和不变矩特征等;为了避免图像分割环节带来的不确定性,在手背静脉灰度图像中直接提取手背静脉纹理特征,如 Gabor 和局部二值模式 (Local Binary Pattern, LBP) 特征等,并探索其他可能的特征类型。最后分析这些特征,并开展特征可分性与大样本集容量关系的研究。

(2) 手背静脉图像质量参数与识别率关系的研究。前期工作中发现光照强度、分辨率和图像大小对识别率具有较大的影响,本书用手背静脉图像的信息熵来反映手背静脉纹理结构信息量的大小;用手背静脉图像的灰度均值和方差来反映图像的亮度与平滑度。在此基础上,系统深入地开展手背静脉图像大小、分辨率、信噪比、亮度分布和平滑度等参数对识别率影响的理论与实验研究,最终确定对手背静脉图像大小、分辨率、信噪比、亮度分布和平滑度等参数的最低指标要求。

(3) 血液与皮下脂肪多光谱特性的手背静脉图像活体特性研究。理论上,血液与皮下脂肪对近红外光的吸收率不同,并在 700~1000nm 的红外光谱上存在各自的最大吸收光谱峰值。本书将对血液与皮下脂肪的多光谱特性进行分析,开展手背静脉图像活体检测的理论研究,提取双色近红外峰值,定量研究手背静脉图像的活体性。

(4) 鲁棒特征提取与选择及特征编码机理研究。手背静脉特征是一种纹理结构信息,对于这种纹理信息,常规的基于二值图像的算法采用图像分割、细化和特征点提取等过程,但是这种基于图像分割的方法存在无法克服的缺点,即噪声将导致静脉纹